



⑫ Offenl. gungsschrift  
⑩ DE 40 02 792 A 1

⑮ Int. Cl. 5:  
G 01 N 33/26  
G 01 N 25/08  
G 01 N 27/14

DE 40 02 792 A 1

⑯ Aktenzeichen: P 40 02 792.9  
⑯ Anmeldetag: 31. 1. 90  
⑯ Offenlegungstag: 1. 8. 91

⑰ Anmelder:  
Alfred Teves GmbH, 6000 Frankfurt, DE; Phywe  
Systeme GmbH, 3400 Göttingen, DE

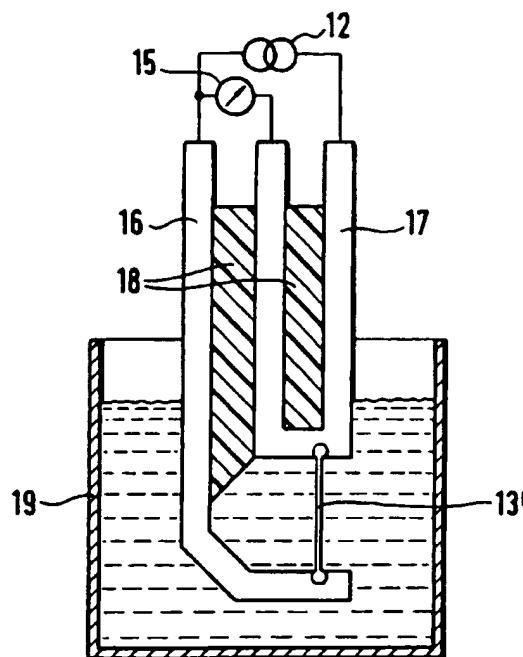
⑱ Erfinder:  
Klein, Hans-Christof, 6234 Hattersheim, DE;  
Lohberg, Peter, 6382 Friedrichsdorf, DE; Krause,  
Hans Joachim; May, Arno, Dr.; Oberdorfer, Dietmar;  
Plüquett, Ulrich, 3400 Göttingen, DE

⑲ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 34 90 255 C2  
DE 32 42 506 C2  
DE 37 06 501 A1  
DE 35 15 767 A1  
DE 32 41 078 A1  
GB 20 42 737  
EP 2 08 096 B1  
EP 00 74 415 A1  
EP 00 56 424 A1  
EP 1 08 962 A2

⑳ Vorrichtung zur Ermittlung der Beschaffenheit einer Druckübertragungsflüssigkeit

㉑ Eine Vorrichtung zur Ermittlung der Beschaffenheit einer Druckübertragungsflüssigkeit, insbesondere der Siedetemperatur einer Bremsflüssigkeit, besteht im wesentlichen aus einem elektrisch beheizten Sensorelement (13) das in die zu untersuchende Flüssigkeit eintaucht, aus einer Stromquelle (12), die einen Strom konstanter Amplitude liefert und aus einer Meßeinrichtung (15) zur Messung des Spannungsabfalls über dem Sensorelement (13). Das Sensorelement ist derart gestaltet und der Heizstrom derart bemessen, daß sich nach dem Aufheizen des Sensorelementes für die Dauer der Messung eine stabile Zellularkonvektion einstellt, wobei der am Sensorelement (13) abgegriffene Spannungsabfall als Maß für die Beschaffenheit der Flüssigkeit auswertbar ist. Das Sensorelement ist in Form eines beidseitig eingespannten Linearleiters (13', 20, 21) ausgebildet. Das Sensorelement kann auch aus mehreren parallel oder in Serie geschalteten Linearleitern (13', 20, 21) dieser Art bestehen.



## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Ermittlung der Beschaffenheit einer Druckübertragungsflüssigkeit, insbesondere zur Kontrolle oder Überwachung des Gebrauchswertes oder der Siedetemperatur einer hygroskopischen Bremsflüssigkeit, mit einem elektrisch beheizbaren Sensorelement, das in die zu untersuchende Flüssigkeit eintaucht, mit einer Stromquelle, die einen elektrischen Strom konstanter Amplitude liefert und mit einer Meßeinrichtung, mit der der Spannungsabfall über dem Sensorelement beim Einspeisen des elektrischen Stromes abgreifbar und der temperaturabhängige Widerstand des Sensorelementes ermittelbar ist, wobei das Sensorelement derart gestaltet und dimensioniert und der Heizstrom derart bemessen ist, daß sich nach dem Aufheizen des Sensorelementes für die Dauer der Messung eine stabile Zellularkonvektion in einem unterhalb der Siedetemperatur der Flüssigkeit liegenden Temperaturbereich einstellt, und wobei der Spannungsabfall über dem Sensorelement als Maß für die Beschaffenheit der Flüssigkeit auswertbar ist.

Eine derartige Vorrichtung ist aus der Offenlegungsschrift DE 35 22 774 A1 bekannt. Das Sensorelement dieser Vorrichtung ist derart gestaltet und die Stromversorgung derart ausgelegt, daß sich zum Zeitpunkt der Messung eine stabile Zellularkonvektion einstellt. Dies setzt ein Aufheizen auf eine bestimmte Temperatur voraus, die in einem unterhalb der Siedetemperatur der zu untersuchenden Flüssigkeit liegenden Temperaturbereich liegt. Ein Aufheizen des Sensorelementes auf die Siedetemperatur der zu untersuchenden Flüssigkeit ist dabei unbedingt zu vermeiden.

Nach dieser Offenlegungsschrift wird vorgeschlagen, das Sensorelement in Form eines Hohlkörpers mit offener, durchbrochener Wandung, in Form einer Hohlwendel, einer perforierten Röhre und der dergl. auszubilden, um das Ausbilden von Konvektionszellen bzw. der stabilen Zellularkonvektion während der Meßdauer zu begünstigen. Solche Sensorelemente sind jedoch relativ aufwendig. Dies kommt besonders dann zum Tragen, wenn ein stationärer Einbau in ein Fahrzeug bzw. in jede Radbremse eines Fahrzeugs vorgesehen ist. Auch sind in einem solchen Fall die Anforderungen an die mechanische Stabilität des Sensorelementes hoch.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein mechanisch stabiles und dennoch mit geringem Aufwand herzustellendes Sensorelement für eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu entwickeln, das die Ausbildung einer stabilen Zellularkonvektion während des Meßvorganges begünstigt.

Es hat sich gezeigt, daß diese Aufgabe überraschenderweise mit einem Sensorelement zu lösen ist, das in der sehr einfachen Form eines beidseitig eingespannten Linearleiters, z. B. eines kurzen Drahtstückes, ausgebildet ist. Das Sensorelement kann auch aus mehreren Linearleitern dieser Art, die parallel oder in Serie geschaltet sind, bestehen.

Die Anordnung muß derart getroffen werden, daß sich an allen Linearleitern Konvektionszellen ausbilden können.

Nach einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung besteht das Sensorelement aus einer Platin/Iridiumlegierung der Zusammensetzung 90%/10%. Das Sensorelement kann eine Länge von 10–30 mm, vorzugsweise 15–20 mm, aufweisen und einen Durchmesser von 30–80 µm, vorzugsweise 40–60 µm besitzen.

Nach einem weiteren vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Sensorelement in der zu untersuchenden Flüssigkeit annähernd senkrecht angeordnet. Es kann jedoch auch mit vorgegebener Neigung 5 oder mit einer zur Einstellung der Meßcharakteristik veränderlichen Neigung in die Flüssigkeit eingesetzt sein. Schließlich ist es in manchen Fällen noch günstig, wenn das Sensorelement, zumindest teilweise von einem koaxialen Rohr umgeben ist, das beidseitig offen ist und die Ausbildung eines Hüllstromes bzw. einer stabilen Zellularkonvektion zwischen dem Linearleiter und dem Rohr zuläßt. Es derartiges Sensorelement ist gegen Strömungsbewegungen in der zu untersuchenden Flüssigkeit relativ unempfindlich. Zur Konstruktion handgeföhrter Meßsonden ist eine solche Ausbildung ebenfalls von Vorteil.

Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der bei- 10 gefügten Abbildungen hervor.

Es zeigen

Fig. 1 im Diagramm den prinzipiellen Verlauf der Temperatur bzw. des ohmschen Widerstandes über den Strom bei einem Sensorelement der erfindungsgemäß 15 Art,

Fig. 2 den grundsätzlichen Aufbau einer Meßschaltung für die erfindungsgemäße Vorrichtung,

Fig. 3 in schematisch vereinfachter Darstellung ein Sensorelement für die erfindungsgemäße Vorrichtung,

Fig. 4a–e in Prinzipdarstellung verschiedene Ausführungsformen des Sensorelementes.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung beruht auf der Siedetemperatur-Bestimmung mit Hilfe eines Sensorelementes, das derart ausgebildet ist und derart aufgeheizt wird, daß sich eine stabile Zellularkonvektion – jedoch kein Sieden – einstellt. Eine solche Zellularkonvektion tritt ein, wenn das als Konvektionskörper verwendete Sensorelement in dem unmittelbar angrenzenden Flüssigkeitsraum eine Wärmemenge erzeugt, die nicht mehr durch "laminare Konvektion" (abströmende Wärmeleitung) schnell genug an das umgebende Gesamtvolumen an Flüssigkeit weitergeleitet werden kann, die jedoch noch keine Siedeblasen erzeugt. Es bilden sich dann Grenzschichten aus, die das Heizelement in geringem Abstand wie ein Hüllstrom umgeben. Innerhalb einer "Zelle" entsteht ein Wärmerückstau bis zum Heizelement; die Zelle selbst kann nach außen in den Flüssigkeitsraum durch laminare Konvektion gerade so viel Wärme abgeben, wie in diesem Raum pro Zeiteinheit aufgenommen und verteilt werden kann. Das Heizelement und sein Konvektionszellenumfeld verhalten sich damit wie ein gemeinsames Heizgebilde, das sich in bezug auf laminare Konvektionsverhältnisse mit der Restflüssigkeit im Zustand der thermischen Leistungsanpassung befindet. Die Grenzschicht bleibt stabil, solange die Rückstautemperatur an der Innenseite der Grenzschicht um einen gewissen Betrag höher ist als an der Außenseite in der Restflüssigkeit. Wird die Flüssigkeit über die Temperatur der Konvektionszellenbildung hinaus erhitzt, bilden sich keine Konvektionszellen mehr aus und eine Siedetemperaturbestimmung mit Hilfe einer Vorrichtung der erfindungsgemäß 20 Art ist nicht mehr möglich. Die innerhalb der Konvektionszellen auftretende Rückstau-Temperaturverteilung ist u. a. abhängig von der Flüssigkeitsbewegung in der Zelle. Diese Bewegung ist wiederum abhängig von der Dichte und Zähigkeit (Viskosität) der Flüssigkeit sowie von Auftriebserscheinungen.

Zur Bestimmung der Siedetemperatur mit Hilfe der erfundungsgemäßen Vorrichtung wird der veränderliche Heizwiderstand des Sensorelementes infolge der Rückstautemperatur an der Grenzschicht zwischen der Heizeroberfläche und der Zellenflüssigkeit ausgewertet. Bei hygroskopischen Bremsflüssigkeiten bewirkt nun der Versatz mit Wasser eine spezifische Veränderung von Dichte und Viskosität sowie damit der Rückstautemperatur. Diese Änderung wird zur Bestimmung der Siedetemperatur ausgewertet. Das Diagramm nach Fig. 1 dient zur Veranschaulichung der Vorgänge. Dargestellt ist der Verlauf der Rückstautemperatur  $T$  oder des entsprechenden elektrischen Widerandes  $R$  des Sensorelementes, mit dem diese Temperatur bestimmt wird, in Abhängigkeit von dem ansteigenden Heizstrom  $I$ . Ausgehend von der Umgebungstemperatur (1) steigt die Temperatur zunächst über einen Wert (2) hinaus paraboliformig bis zu einem Maximum (3) an. Dieser Verlauf entspricht dem Bereich mit ausschließlich laminarer Konvektion. Die Kennlinie nimmt dann einen ausgeprägten negativen Verlauf (3)-(4) und verläuft dann weiter mit geringer, annähernd konstanter Steigung bis zum Punkt (6). Der Kennlinienabschnitt (4)-(6) ist charakteristisch für den Bereich zellulärer Konvektion, der erfundungsgemäß zur Bestimmung der Siedetemperatur der zu untersuchenden Flüssigkeit ausgewertet wird. (5) markiert einen günstigen Betriebspunkt.

Das Dreieck (2)-(3)-(4) wird als Bifurkationszone bezeichnet, weil die Kennlinie mit ansteigender Heizenergie stets den Weg (2)-(3)-(4) nimmt, umgekehrt jedoch den Verlauf (4)-(2) nimmt, unter Auslassung des Punktes (3). Die Bifurkationszone charakterisiert den Bereich der beginnenden Ausbildung der zuvor beschriebenen Grenzschicht. Sensorelemente bzw. Heizelemente, die einen derartigen Kennlinienverlauf zeigen, sind grundsätzlich als Konvektionskörper bzw. Sensorelemente für die erfundungsgemäße Vorrichtung geeignet. Eine ausgeprägte Bifurkationszone ist in der Regel ein Indiz für eine vorteilhafte Gestaltung des Sensorelementes.

In Abhängigkeit von dem Wasseranteil in der zu untersuchenden Flüssigkeit ändert sich das Kennlinien-Plateau (4)-(6). Die Kennlinien 10 und 11 gelten für Flüssigkeiten, deren Siedepunkt im Vergleich zur Kennlinie 9 — infolge höheren Wassergehaltes — geringer ist. Beim Einspeisen eines bestimmten, konstanten Stromes  $I_c$ , wie dies bei der erfundungsgemäßen Vorrichtung geschieht, stellt sich anstelle des Arbeitspunktes 5 im Falle der Kennlinie 9 nun ein Arbeitspunkt (7) oder (8) (Kennlinie 10 bzw. 11) ein, zu dem ein bestimmter elektrischer Widerstand bzw. ein bestimmter Spannungsabfall über dem Sensorelement gehört.

Fig. 2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer für die erfundungsgemäße Vorrichtung geeigneten Meßanordnung. Danach besteht die Meßanordnung im wesentlichen aus einer Stromquelle 12, die einen Gleich- oder Wechselstrom  $I_c$  konstanter Amplitude liefert, aus dem Sensorelement 13, das in die zu untersuchende Flüssigkeit, deren Volumen mit 14 symbolisiert ist, eingetaucht ist, sowie schließlich aus einem hochohmigen Spannungsmesser 15, der an den Klemmen K1, K2 angeschlossen ist.

Fig. 3 veranschaulicht ein konkretes Beispiel einer Vorrichtung der erfundungsgemäßen Art mit einer Meßschaltung nach Fig. 2. Der als Sensorelement dienende Linearleiter 13' besteht in diesem Ausführungsbeispiel aus einem kurzen, beidseitig eingespannten Drahtstück, zu dessen Herstellung eine Platin-Iridium-Legierung Pt/Ir (90%/10%) verwendet wurde. Das Sensorelement 13'

besitzt hier eine Länge von 10–15 mm und einen Drahtdurchmesser von 50  $\mu\text{m}$ . Die Länge ist so gewählt, daß sich ein ohmscher Widerstand im Bereich von 1,7–2,3 Ohm ergibt. Der Betriebsstrom zur Erzeugung einer stabilen Zellularkonvektion liegt dann im Bereich von 1 Ampere.

In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 ist der Linearleiter 13' der erfundungsgemäßen Vorrichtung zwischen zwei Elektroden 16, 17 aus Neusilberblech eingespannt, die in einem elektrisch nichtleitenden flachen Stützkörper 18 eingebettet sind. In Anlehnung an Fig. 2 wurde die Konstantstromquelle mit 12, der Spannungsmesser mit 15 symbolisiert. Das Sensorelement 13' ist mit den Elektroden 16, 17 durch eine Punktschweißung verbunden. Das Sensorelement ist in einen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllten Behälter 19 eingetaucht.

Es ist durchaus auch möglich, zwei oder mehrere gleichartige, einfach strukturierte Sensorelemente zusammenzufügen und elektrisch parallel oder in Serie geschaltet zu betreiben. Die räumliche Anordnung und der Abstand der einzelnen Sensorelemente voneinander müßten derart gewählt werden, daß sich die erfundungswesentliche Zellularkonvektion ausbilden kann. Beispielsweise könnten weitere gleichartige Linearleiter 13' zwischen den Elektroden 16, 17 parallel angeordnet und an die Elektroden angeschweißt werden.

Die grundsätzliche Gestaltung und Anordnung besonders einfacher Linearleiter sind in Fig. 4 zusammengestellt. Nach Fig. 4a besteht das Sensorelement aus einem kurzen Linearleiter 20, der theoretisch als eine entartete Wendel aufgefaßt werden kann, die derart gestreckt ist, daß kein umschlossener Innenraum mehr verbleibt, wobei im Extremfall ein gewellter oder gar ein gerader Linienleiter entsteht. Bei vorgegebenem ohmschen Widerstand eines wendelartigen Heiz- oder Sensorelementes steht der Betriebsstrombedarf zur Erzeugung einer Zellularkonvektion in einem bestimmten Verhältnis zur Steigung der Wendel. Bei einer engen Wendel wird ein Minimum an Betriebsstrom benötigt, bei einer zum gestreckten Leiter entarteten Wendel ein etwas höherer Wert. Eine gestreckte Wendel mit geringem Verhältnis von Wendellinnendurchmesser zu Drahtdurchmesser verfügt jedoch über eine bessere mechanische Eigensteifigkeit, was für die praktische Anwendung eines Sensorelementes nach der Erfahrung von großem Vorteil ist. Fig. 4a zeigt eine derartig gestreckte, entartete Wendel 20. Die beiden Endpunkte A und B, die durch Materialverstärkung und dadurch erhöhten Leitwert gegeben sind, begrenzen die wirksame Länge des Sensorelementes. Die Fig. 4b und c zeigen Linearleiter 21 in Form von vollständig gestreckten Linienleitern. In Fig. 4b ist das Sensorelement senkrecht angeordnet, während in Fig. 4c die Achse um einen bestimmten Winkel gegenüber der Senkrechten gekippt ist. In beiden Fällen ist der Schlierenverlauf des Hülstromes 23 angedeutet. In Abhängigkeit von der Neigung des Linienleiters 21, der das Sensorelement darstellt, und der damit verbundenen Wirkung der Auftriebskräfte auf den Hülstrom 23 verbleibt ein bestimmter Teil des Linearleiters 21 im Wirkungsbereich des Hülstromes 23. Durch Änderungen bzw. Einstellung der Neigung ist folglich die Charakteristik des als Meßkörper dienenden Sensorelementes veränderbar und läßt sich an bestimmte Anforderungen anpassen. So ist in Fig. 4b das Gesamtsensorelement umhüllt; in Fig. 4c verbleibt eine Länge  $dL$  ohne Hülstrom. Dieser Umstand kann dazu ausgenutzt werden, dem Kurven-

verlauf des Linienabschnittes (4)-(6) in Fig. 1 eine veränderte Charakteristik zu geben.

In den Ausführungsvarianten nach Fig. 4d und e ist der gestreckte Linienleiter 21, der das Sensorelement darstellt, mit einer Umhüllung bzw. einem koaxialen Rohr 22 umgeben, das beidseitig offen ist, so daß der Hüllstrom zwischen dem Linienleiter 21 und dem Rohr 22 geführt wird. Derartige Sensorelemente sind gegen zusätzliche Strömungsbewegungen in der Prüfungsflüssigkeit weniger empfindlich als Sensorelemente 21 ohne 10 derartige Umhüllungen. Die Sensorelemente nach Fig. 4d und e sind zur Konstruktion handgeführter Sonden besonders geeignet. Für ortsfeste Systeme, z. B. zum Einbau in Kraftfahrzeugsbremsen, genügen in der Regel die einfacheren Ausführungsformen nach den 15 Fig. 4a - c.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Ermittlung der Beschaffenheit einer Druckübertragungsflüssigkeit, insbesondere der Siedetemperatur einer hygroskopischen Bremsflüssigkeit, mit einem elektrisch beheizbaren Sensorelement, das in die zu untersuchende Flüssigkeit eintaucht, mit einer Stromquelle, die einen elektrischen Strom konstanter Amplitude liefert und mit einer Meßeinrichtung zur Ermittlung des Spannungsabfalls über dem Sensorelement beim Einspeisen des elektrischen Stromes und des temperaturabhängigen Widerstandes des Sensorelementes, wobei das Sensorelement eine derartige Gestalt besitzt und der Heizstrom derart bemessen ist, daß sich nach dem Aufheizen des Sensorelementes für die Dauer der Messung eine stabile Zellularkonvektion in einem unterhalb der Siedetemperatur der Flüssigkeit liegenden Temperaturbereich einstellt, und wobei der Spannungsabfall über dem Sensorelement als Maß für die Beschaffenheit der Flüssigkeit auswertbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement (13) in Form eines 40 beidseitig eingespannten Linearleiters (13', 20, 21), z. B. eines Drahtes, ausgebildet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement (13) aus mehreren, parallel oder in Serie geschalteten Linearleitern 45 (13', 20, 21) besteht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Linearleiter (13', 20, 21) aus einer Metalllegierung, z. B. aus Pt/Ir (90%/10%), besteht.
4. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 — 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Linearleiter (13', 20, 21) eine Länge von 10 — 30 mm, insbesondere 15 — 20 mm, aufweist und einen Durchmesser von 30 — 80 µm, insbesondere 50 40 — 60 µm, besitzt.
5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 — 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement (13') bzw. der Linearleiter (13', 20, 21) in der zu untersuchenden Flüssigkeit annähernd 60 senkrecht angeordnet ist.
6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 — 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Linearleiter (21) mit einer vorgegebenen Neigung ( $\beta$ ) in der zu untersuchenden Flüssigkeit angeordnet ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Neigung, mit der der Linearleiter

(21) in der Flüssigkeit angeordnet ist, zur Einstellung der Meßcharakteristik des Sensorelementes (13) veränderbar ist.

8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 — 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Linearleiter (21) zumindest teilweise von einem koaxialen Rohr (22) umgeben ist, das beidseitig offen ist und die Ausbildung eines Hüllstromes (23) bzw. einer stabilen Zellularkonvektion zwischen dem Linearleiter (21) und dem Rohr (22) zuläßt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

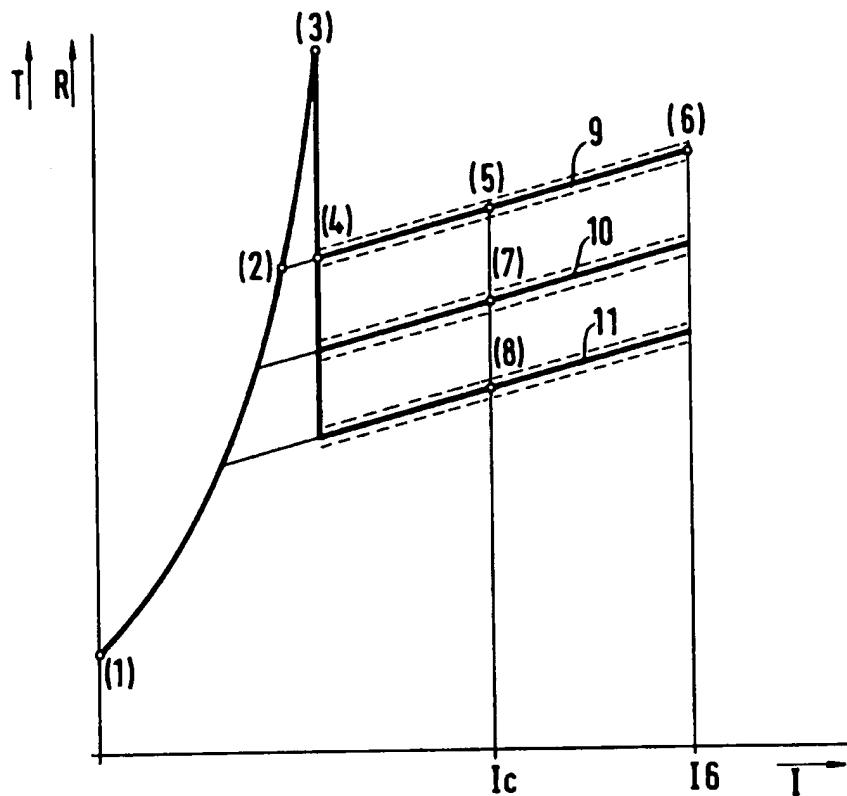


Fig. 2

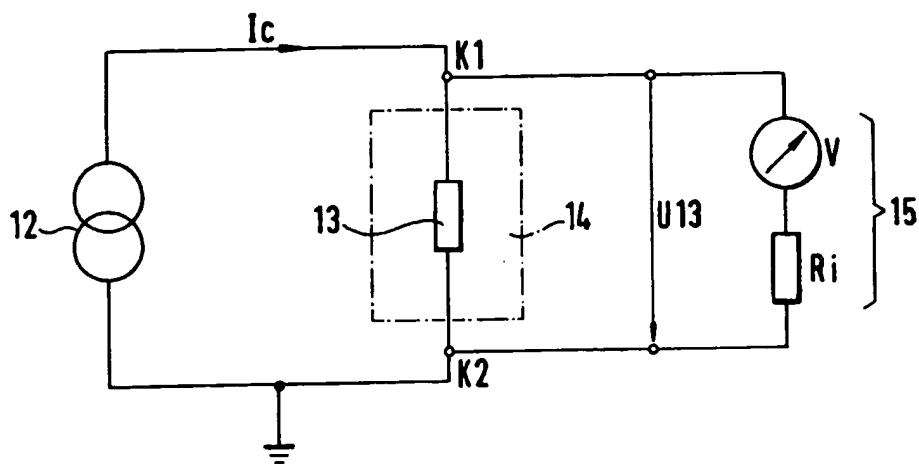


Fig. 3

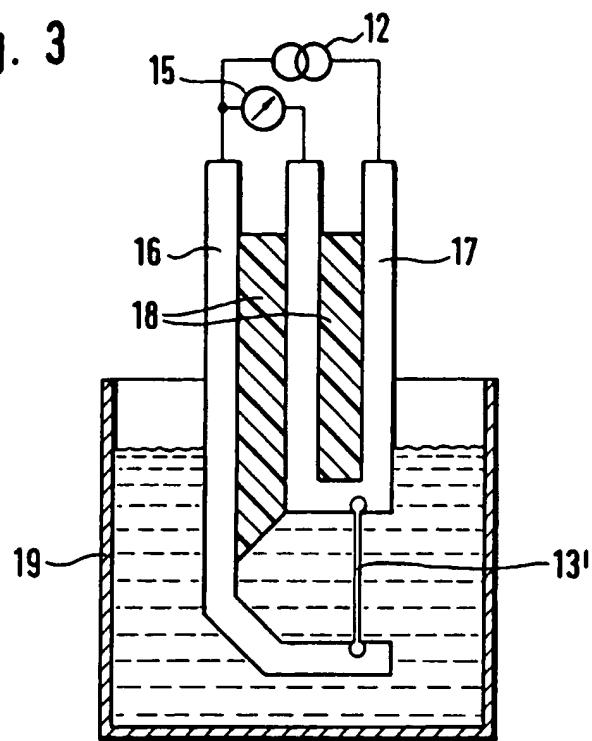


Fig. 4

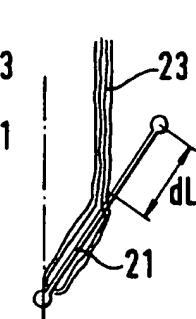
4a



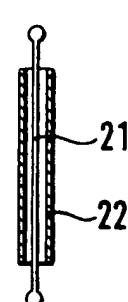
4b



4c



4d



4e

